

# 154/√3 kV SF<sub>6</sub>ガス絶縁中性点接地抵抗器

## 154/√3 kV SF<sub>6</sub> Gas Insulated Neutral Grounding Resistor

矢野 純一\*1  
Junichi Yano  
吉田 鎮\*1  
Mamoru Yoshida  
小野 輝男\*2  
Teruo Ono

We have developed an SF<sub>6</sub> gas insulated neutral grounding resistor (NGR) of 154/√3 kV. Since VW type resistor elements have only recently begun to be developed, thermal testing was conducted on a 1/2 scale model and also single resistor unit and it was confirmed that there is a sufficient tolerance allowance. Calculated temperature rise on equivalent circuits also coincided sufficiently with measured result. Vibration test was also conducted and no particular faults were observed. Mica, which is used as the insulator, was tested for its thermal properties and proved to operate quite well even at high temperature. These test results confirm the authenticity of this compact and highly reliable NGR.

## 1 まえがき

SF<sub>6</sub>ガス絶縁中性点接地抵抗器（NGR）は、昭和59年に中部電力㈱と共同で77/√3 kVの製品を開発<sup>1)</sup>して以来30台余りを製作・納入し、いずれも順調に稼動している。

SF<sub>6</sub>ガス絶縁NGRは、全抵抗体を10分割し、それぞれを断熱材で覆った上CO<sub>2</sub>ガスを充填した内側タンクに納め、それらを更にSF<sub>6</sub>ガスを充填した外側タンクに収納したもので、充電部が密閉されているため安全性の向上並びに機器全体のコンパクト化を図ることができる。

従来の製品はいずれも77/√3 kV以下であったが今回新たに154/√3 kVのNGRを製作することとなった。電圧の上昇に伴って抵抗値が大きくなるため、従来使用していた短冊形抵抗体では占積率が小さく、本体寸法の増加が避けられないこととなる。そのため今回新たにVW形抵抗体を採用することとした。抵抗体の変更に伴い、抵抗体の温度特性、耐振特性及び絶縁物の熱特性の問題を解決する必要があるため、実器製作に先立ち抵抗体単体及び1/2縮小モデルによる試験を実施した。

## 2 154/√3 kV NGRの開発

### 2.1 仕様

今回開発した154/√3 kV NGRの仕様及び外観を表1及び図1に示し、抵抗体を図2に示す。また参考のため77/√3 kV 400A NGRの仕様も併記した。



図1 / NGRの外観  
Fig. 1/External view of NGR

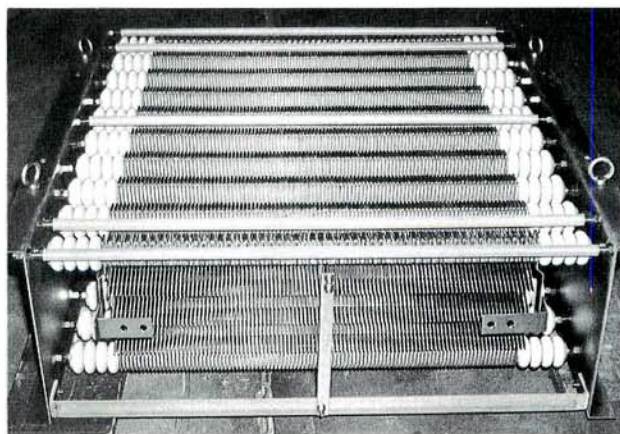


図2 / 抵抗体  
Fig. 2/Resistor

\*1 変圧器事業部 技術部  
\*2 変圧器事業部 品質保証部

なお常時零相電流を3Aとした理由は、9箇所の変電所において、運転中の154/√3 kV NGRについて零相電流を測定したところ、表2の結果が得られたので、将来の系統増設を考慮しても最大3Aとしておけば問題ないものと考えられるためである。

## 2.2 抵抗体

抵抗体材料としては、固有抵抗値が小さく、高温時における熱膨張率が小さく、且つ引張強度にも優れた材料が要求される。また入手が容易で安価であることも必要である。

このような材料として、表3の化学成分を持つフェライト系ステンレス鋼を採用することとした。この抵抗体素子の物理特性を表4に示す。

次に温度に対する固有抵抗、熱膨張率及び引張強度と伸びをそれぞれ図3～図5に示す。

154/√3 kV NGRで必要とする抵抗値は表1から分るように、200A器で445Ω、また100A器では890Ωとなり、77/√3 kV 400A NGRと比べそれぞれ4及び8倍となるので、従来と同様な短冊形抵抗体では占積率が小さいため容積が大きくなってしまふ。そのため今回はVW形抵抗体を使用している。VW形抵抗体の形状を図6に示す。

200A器の場合はこの抵抗体9枚を横に並べ、これを104段に積み重ねて1ブロックとして内側タンクに納め、10ブロックで所定の抵抗値が得られるようになっている。

表1 /154/√3 kV NGRの仕様

Tab. 1/Specification of 154/√3 kV NGR

定 格 電 圧	kV	154/√3	154/√3	77/√3
定 格 電 流	A	200	100	400
通 電 時 間	s	15	15	15
常時零相電流	A	3	3	5
抵 抗 値	Ω	445	890	111
零 相 容 量	kVA	17800	8890	17800
発 生 熱 量	kcal	64000	32000	64000
外 形 寸 法	幅	mm	4500	3900
	奥行	mm	2230	2230
	高さ	mm	3330	3330
総 重 量	kg	16400	13500	11000

表2 /零相電流測定結果

Tab. 2/Measured result of zero sequence current

変 電 所 No.	零相電流 (A)
1	1.7
2	1.3
3	1.8
4	0.2
5	0.5
6	1.2
7	2.4
8	1.4
9	0.3

表3 /抵抗体素子の化学成分

Tab. 3/Chemical component of resistor element

代 表 成 分	含 有 率 (%)
C	0.06
Si	0.50
Mn	0.50
P	0.022
S	0.007
Cr	15.0
Al	4.00

表4 /抵抗体素子の物理特性

Tab. 4/Physical characteristics of resistor element

項 目	特 性 値	
固 有 抵 抗	μΩ·cm	125±6(20℃)
温 度 係 数		1.32×10 <sup>-4</sup> (20~500℃)
比 重		7.10~7.25
熱 膨 張 率	1/℃	11.50×10 <sup>-6</sup> (500℃)
溶 融 点	℃	1490
磁 気 変 態 点	℃	600~750

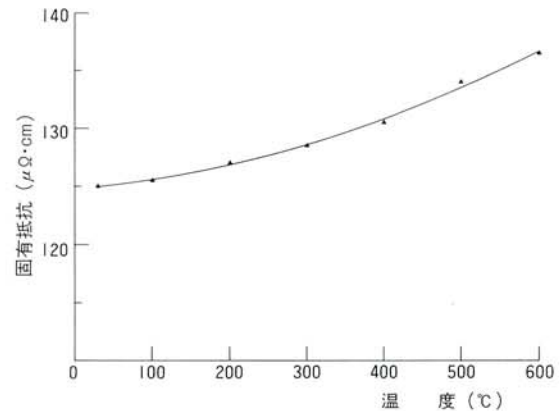


図3 /温度—固有抵抗特性

Fig. 3/Characteristics between temperature and resistivity

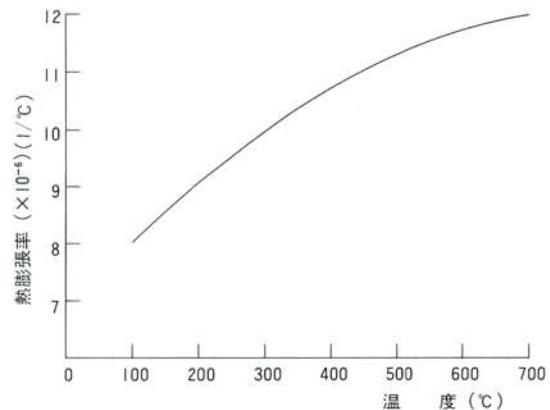


図4 /温度—熱膨張率特性

Fig. 4/Characteristics between temperature and coefficient of expansion

## 2.3 抵抗体の温度試験

VW形抵抗体に通電した場合は、図6に構造を示すように鋭角的に曲がるコーナー部があり、電流分布が不均一となる恐れがあるため、確認のため端子間に電流を流し表面温度をサーモグラフィーにて測定した。その結果を図7に示す。

また電流分布の計算結果を図8に示す。

これらの結果から分るように、抵抗体のコーナ部においては電流が集中するが、コーナ部の断面積は直線部の約1.5倍あるため大きな温度上昇は認められない。

## 2.4 温度試験

本器で採用している蓄熱徐冷方式では、発熱体は断熱材で覆われて、内側タンクに収納されているため、発生した熱は一旦抵抗体内部に蓄えられ、その後徐々に放熱される。したがってSF<sub>6</sub>ガスは高温に曝されることなく、且つ急激なタンクの圧力上昇も発生しない。

これらの試験のため1/2縮小モデルにより、常時零相電流5A通電後、200Aを15秒間通電し、各部の温度及びタンクの圧力上昇を測定した。その結果を表5及び図9、図10に示す。

これらの試験結果より温度、圧力とも許容値に対して十分余裕のある値であることが分る。

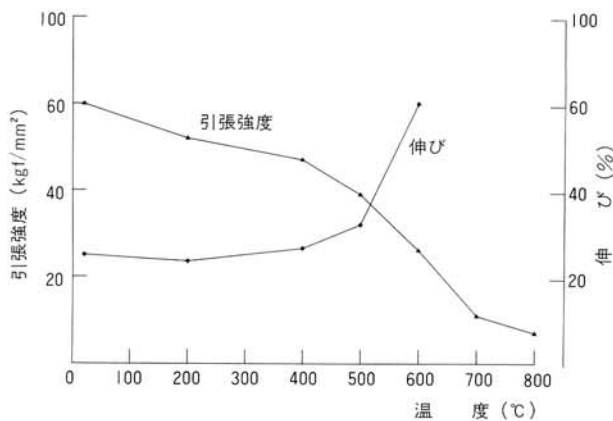


図5/温度—引張強度、伸び特性

Fig. 5/Characteristics between temperature and tensile strength, elongation

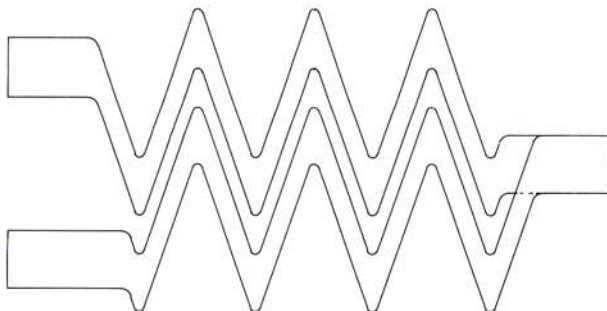


図6/VW形抵抗体

Fig. 6/VW-type resistor

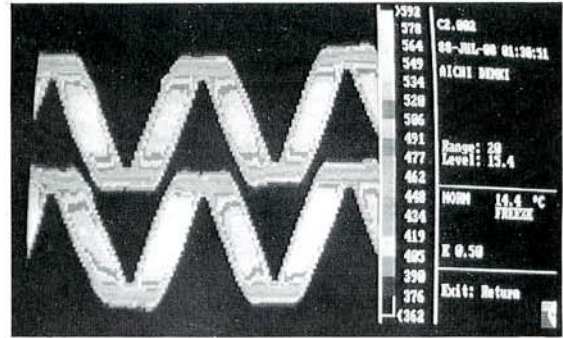


図7/表面温度分布(200A, 25s)

Fig. 7/Temperature distribution

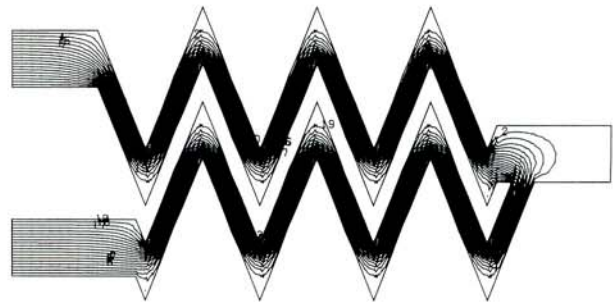


図8/電流分布の計算結果

Fig. 8/Calculated result of current distribution

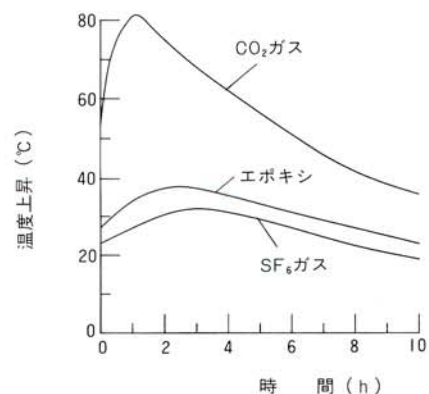
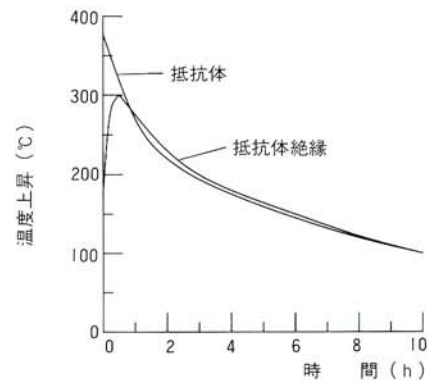


図9/温度の時間変化

Fig. 9/Time variation of temperature

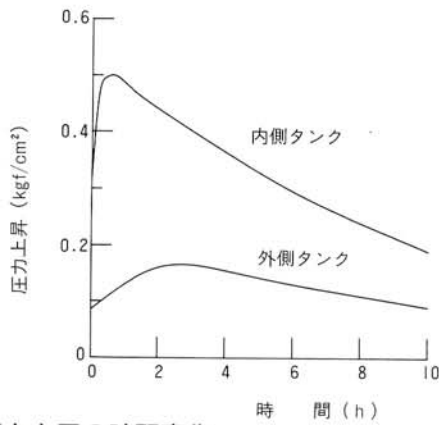


図10/圧力上昇の時間変化  
Fig. 10/Time variation of pressure

表5/温度試験結果  
Tab. 5/Temperature rise test

測定点	零相電流 5A通電 (1)	200A 15s 通電 (2)	(1)+(2) +周温	許容値	
温度 上昇 ℃	抵抗体	176	201	417	900
	抵抗体絶縁	176	123	339	600
	断熱材	176	201	417	1260
	CO <sub>2</sub> ガス	53	28	121	—
	エポキシ貫通ブッシング	27	11	78	130
	エポキシ支持碍子	27	11	78	130
圧力上昇 kgf/cm <sup>2</sup>	内側タンク	0.32	0.19	0.51	1.6
	外側タンク	0.08	0.08	0.16	1.2

## 2.5 温度上昇の計算

一般に熱伝導の式は(1)式で表される。

$$Qdt = Cd\theta + G\theta dt \dots\dots\dots(1)$$

$$G = Ah \dots\dots\dots(2)$$

ここで Q : 熱流 (W)

C : 熱容量 (J/°C)

G : 熱コンダクタンス (W/°C)

$\theta$  : 温度差 (°C)

A : 伝熱面積 (m<sup>2</sup>)

h : 熱伝達係数 (W/m<sup>2</sup>°C)

(1)式を電気的な等価回路で示すと図11の如くなる。

本NGRの場合、抵抗内部で発生した熱は抵抗体—断熱材—CO<sub>2</sub>ガス—内側タンク—SF<sub>6</sub>ガス—外側タンクの経路で外部に放出される。したがって全体の等価回路としては図12の如く表される。

各部の熱容量C<sub>1</sub>~C<sub>6</sub>、熱コンダクタンスG<sub>1</sub>~G<sub>6</sub>並びに常時零相電流5Aを通電した場合の温度上昇、圧力上昇の計算結果を表6、表7に示す。また引き続き200Aを15秒通電した場合の最高温度上昇の計算結果を表6に、温度の時間変化の計算結果を図13に示す。

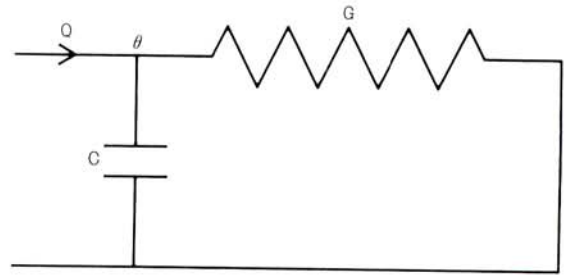


図11/等価回路  
Fig. 11/Equivalent circuit

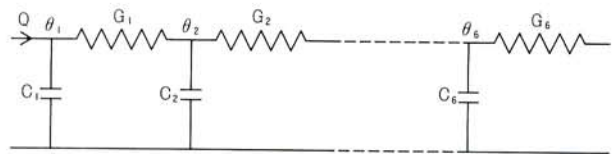


図12/全体の等価回路  
Fig. 12/Overall equivalent circuit

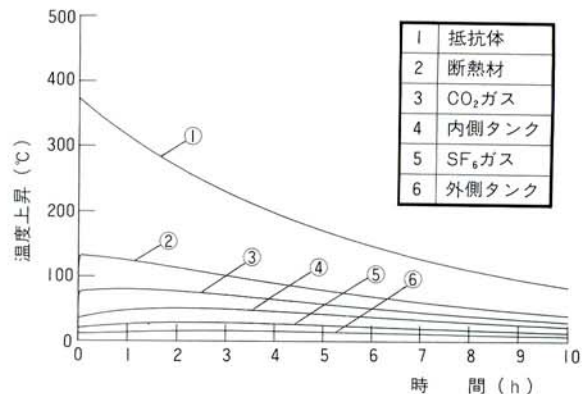


図13/温度の時間変化  
Fig. 13/Time variation of temperature

表6/熱容量、熱コンダクタンス及び温度上昇  
Tab. 6/Heat capacity, thermal conductance and calculated result of temperature rise

場所	熱容量 C(J/°C)	熱コンダクタンス G(W/°C)	温度上昇 (零相電流 5A) $\theta$ (°C)	最高温度上昇 (5A+200A, 15s) (°C)
1 抵抗体	140	10.6	183.1	374
2 断熱材	1	45.3	78.0	132
3 CO <sub>2</sub> ガス	1	62.4	53.4	80
4 内側タンク	244	73.6	35.6	51
5 SF <sub>6</sub> ガス	9	124.8	20.5	29
6 外側タンク	332	96.3	11.5	16

表7/圧力上昇計算結果  
Tab. 7/Pressure rise

場所	圧力上昇(零相電流5A) kgf/cm <sup>2</sup>
内側タンク	0.29
外側タンク	0.10

表8/気体の熱定数

Tab. 8/Thermal characteristics of gases

気 体		CO <sub>2</sub>	SF <sub>6</sub>	空 気
基準温度	℃	50	40	30
熱伝導率	kcal/h・m・℃	0.0157	0.0125	0.0222
動粘性係数	m <sup>2</sup> /s×10 <sup>-6</sup>	10.0	2.86	16.6
プラントル数	—	0.77	0.78	0.71

なおこの計算において気体の熱定数は表8の値を採用した。

表5及び図9、図10の試験結果と、表6、表7及び図13の計算結果を比べると、可成りよく一致していることが分る。したがって温度上昇の計算は図12のような簡単な等価回路でも、実用上十分であるといえる。

## 2.6 振動試験

NGR全体の耐震試験は、すでに77/√3kV器にて実施しており、これは154/√3kV器においても大差はないものと考えられるため、今回は1ブロックについて振動試験を行った。なお全体ブロックにおける共振周波数及び最大加速度はあらかじめ有限要素法による振動解析を行い決定した。

試験は抵抗体のX方向及びY方向に、それぞれ16Hz、4Gの振動を加えた。加振中は抵抗体の接触を観察したが異常は認められなかった。また加振後は抵抗体の変形及び絶縁物の損傷について測定及び点検を行った。そのほか加振試験前後においては抵抗体一側板間に7000Vの電圧を1分間印加し絶縁性能に異常のないことを確認した。

試験の結果、16Hz、4Gの加速度に対して特に異常は認められなかった。

## 2.7 絶縁物の熱特性

抵抗体の組み立ては、スタッドボルトにガラスクロスを巻き、この上をマイカクロスによって絶縁し、更にガラスクロスを巻いて保護したものに抵抗体素子を取りつけている。ここで絶縁用に使用しているマイカの一般特性を表9に示す。

またマイカの高温時における加熱減量特性、並びに曲げ強さ、絶縁破壊電圧の加熱劣化特性について試験を行った。それらの結果を図14、図15に示す。

表5から絶縁物の最高温度は339℃であるため、図14から加熱減量は1%以下であり、また図15から曲げ強さ、絶縁破壊電圧の加熱劣化は全く問題のない値であることが分る。

表9/マイカの一般特性

Tab. 9/Characteristics of mica insulator

品 種			D581
密度	g/cm <sup>3</sup>		2.07
加熱減量	%	550℃×2h	0.65
		常 態	27
曲げ強さ	kgf/mm <sup>2</sup>	浸水 24h	20
		常 態	2000以上
		550℃×1h	105
絶縁抵抗	MΩ	40℃-96%RH 24h	950
		平均	2.8
破壊電圧	kV/0.1mm	最低	2.6
		平均	2.8
吸水率	%	20℃×24h	0.3

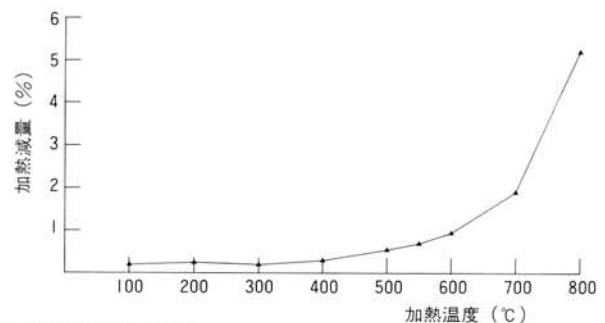


図14/加熱減量特性

Fig. 14/Decrease of weight under high temperature

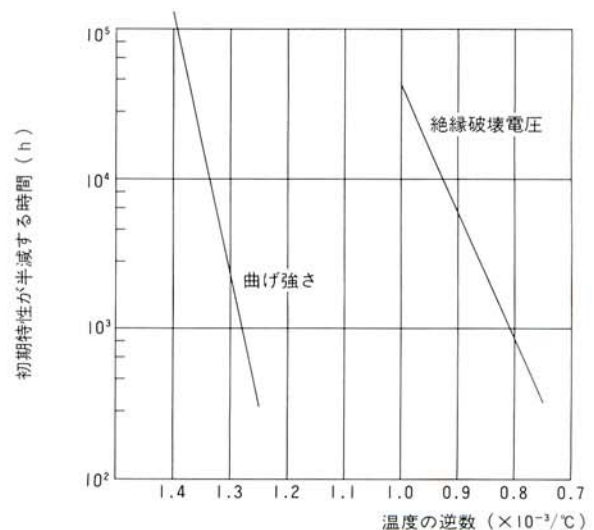


図15/曲げ強さ、絶縁破壊電圧の加熱劣化特性

Fig. 15/Aging characteristics of tensile strength and breakdown voltage

### 3 あとがき

154/√3 kVのNGR製作にあたり、占積率向上のためVW形抵抗体を使用することによって、抵抗値は77/√3 kVのNGRに比べて大幅に増加したにもかかわらず、寸法重量共に大幅な増加を避けることができた。

VW形抵抗体採用にあたり、抵抗体素子及び1/2縮小モデルによる温度試験を実施したが、いずれも許容値に対し十分余裕のある温度に収まった。また等価回路による計算も測定とかなり一致した結果が得られた。

振動試験として抵抗体1ブロックに対し、16Hz、4Gの加速度を加えたが、試験後の点検においても異常は認められなかった。

抵抗体の組立にあたり、抵抗体のスタッドボルトへの取付は、絶縁マイカを介して行っているため、マイカの加熱劣化特性について試験を行ったが、使用温度においては全く問題ないことが判明した。

最後に本NGR設計にあたり有益な助言を戴いた中部電力(株)殿の関係各位並びに製作にあたり多大な協力を戴いた(株)西日本抵抗器製作所殿及び関係各位に対し深く感謝致します。

### 参考文献

- (1) 根尾, 矢野: 「SF<sub>6</sub>ガス絶縁中性点接地抵抗器」  
愛知電機技報 No.1 p17 (1985)

## 最近公告された愛知出願(II)

### 実用新案

公告番号	名 称	考 案 者	共同出願人
63-1916	便座	山本 修	東陶機器(株)
63-1917	暖房便座のスイッチ機構	山本 修	東陶機器(株)
63-2846	電気湯沸装置	山本 修 布施三千雄 立松 聡	東陶機器(株)
63-3128	変圧器におけるブッシングポケット部の油充填装置	佐藤 亘 坂入美津郎	中部電力(株)
63-3129	静止誘導機器の充電部保護装置	甲斐 義信	
63-4496	攪拌ドラムの洗浄装置	安藤 忍	愛知電機商事(株)
63-5400	力率改善制御装置	浮田 義也 田中 雅治	トヨタ自動車(株)
63-7302	攪拌装置	内木 明男 谷口 重夫	愛知電機商事(株)
63-8040	負荷時タップ切換装置における切換開閉器の早切駆動装置	鶴飼 釧	
63-14905	攪拌装置における攪拌ドラムの傾斜角調整装置	安藤 忍	愛知電機商事(株)
63-14906	回転ドラムの挟持・反転装置	新美 正明	愛知電機商事(株)

公告番号	名 称	考 案 者	共同出願人
63-17456	脊柱側わん測定装置	野々村勝巳	日陶科学(株)
63-20954	乾燥装置	新美 正明	
63-20955	乾燥装置	新美 正明	
63-25712	巻鉄心形変圧器	大竹 和博	
63-31380	樹脂モールドコイルの層間絶縁	飯田 淳 磯部 治男	
63-32133	電着塗装のハンガー装置	堀部 晃 吉田 兼光	
63-36656	変圧器ブッシングのリード線接続装置	大竹 和博	
63-38715	サイリスタバルブ装置	神谷 鉄文	
63-39944	変圧器のカバー締付装置	河村 良二	
63-39946	変圧器中身支持装置	河村 良二	
63-44969	電磁石装置	宮島 武秀	
63-45839	モータの異常検出装置	佐藤 徹 安田 徹	
63-49151	噴気式深耕施肥装置	山本 修 平塚 保博	岩谷産業(株)
63-50832	電気機器の本体固定装置	升野 清俊	
63-50837	油入電気機器のケース	河村 良二	(株)橋本製作所